Ueber das Schweben und Kreisen der Vögel.

Von

Dr. **Karl Müllenhoff.**

Zwei Hauptarten des Fluges sind bei den Vögeln zu unterscheiden, der Ruderflug und der Flug ohne Flügelschlag. Die Bewegungserscheinungen des Ruderfluges sind, wie bekannt, in neuester Zeit namentlich durch Marey mit Erfolg untersucht worden. Bezüglich des Fluges ohne Flügelschlag bestehen dagegen noch immer mancherlei Schwierigkeiten. Zum Teil ist das langsame Fortschreiten unserer Erkenntnis über den Flug ohne Flügelschlag wohl darauf zurückzuführen, dafs vielfach die mannigfaltigen Arten dieser Bewegung nicht klar unterschieden worden sind.

Der Flug ohne Flügelschlag tritt hauptsächlich in 4 Formen auf: als Gleiten, als Schweben, als Segeln und als Kreisen. Es soll daher im Folgenden zuerst das Wesentliche der Erscheinungen bei einer jeden dieser vier Flugarten dargestellt werden, und es sollen dabei die Unterschiede besonders hervorgehoben werden, sodann soll die Erklärung der aufgeführten vier Flugarten, soweit es möglich, versucht werden.

Am häufigsten wird bei den Vögeln das Gleiten beobachtet. Bei demselben gewinnt das Tier durch kräftige Flügelschläge zunächst eine bedeutende Geschwindigkeit, unterbricht dann die aktiven Flügelbewegungen und schiefst eine gröfsere oder kleinere Strecke geradeaus oder aufwärts oder auch abwärts. Beobachtungen über diese Art der Bewegung sind leicht anzustellen. Viele von unseren häufigsten Singvögeln fliegen fast immer in der Art, dafs sie den Ruderflug mit dem Gleitfluge abwechseln lassen. Auch das Verfahren, durch welches die Raubvögel auf ihre Beute zuschiefsen, kann man als eine besondere Art des Gleitens ansprechen. Der Falk oder Habicht fliegt entweder schräg aufsteigend von unten her auf die Taube zu und steigt, indem er plötzlich die

Flügelschläge unterbricht und die Flügel dem entgegenströmenden Luftstrome schräg entgegenstellt, steil aufwärts und erreicht dabei die Taube, die über ihm flog, oder der Raubvogel übersteigt seine Beute und läfst sich dann aus grofser Höhe steil herabfallen. Man beobachtet dann, dafs jedesmal, wenn der Raubvogel fehl greift, weil das gejagte Tier ihm durch eine rasche Seitenwendung entwischt, der Räuber sich, ohne einen Flügelschlag zu thun, durch blofse Umstellung der Flügel wiederum steil emporschiefsen läfst. Der Raubvogel erreicht dabei fast genau wieder die alte Höhe. Dieses Flugmanöver des Herabstürzens und Aufsteigens mufs für die Raubvögel aufserordenlich bequem sein und sehr wenig Muskelanstrengung nötig machen, denn nicht selten wird diese Bewegung zehn bis zwölf Mal hintereinander ausgeführt, ohne dafs man bezüglich der Schnelligkeit und der Art der Ausführung dieses Flugmanövers eine Aenderung bemerkt; ohne dafs irgend welche Ermüdung eintritt, wird das Herabstürzen und Wiederemporsteigen so lange fortgesetzt, bis endlich das Beutetier ergriffen ist.

Wesentlich verschieden von dem Gleiten ist das Schweben. Man beobachtet dasselbe namentlich an Steilküsten, an denen oft Möwen unbeweglich über einem und demselben Punkte des Meeres schweben. An unserer deutschen Küste bietet vor allem Helgoland mit seiner 50—60 m hohen Steilküste eine vorzügliche Gelegenheit zur Feststellung aller Einzelheiten dieser wunderbaren Flugmethode. Auf Helgoland sieht man oft hunderte von Möwen sich unbeweglich in der Luft halten, und zwar schweben die Tiere bei Westwind in der Nähe des Westrandes der Klippe, bei Ostwind dagegen an den nach Osten gewendeten Stellen des Klippenrandes. Während die Ebbe und die Flut fortwährend neue Wassermassen unter den Tieren vorbeibewegt, beobachten die Möwen mit scharfem Auge die Wasseroberfläche, ob ihnen das Meer eine geeignete Beute zuführt. Sie schlagen dabei nicht mit den Flügeln, sondern erhalten sich durch blofse Drehung der Flügel um die Längsachse balancierend im Gleichgewicht, können indessen, wie die Beobachtung zeigt, dieses Schweben nur ausführen, wenn genügend starker Wind vorhanden ist; auch können sie nur an der dem Winde zugewandten Seite der Klippe schweben.

Ähnlich wie die Möwen an Steilküsten, schweben vielfach Raubvögel über Waldwiesen; auch sie erhalten sich ohne Flügel-

schlag unbeweglich über einem und demselben Punkte des Erdbodens, beobachten aus der Höhe das unter ihnen liegende Terrain und durchspähen es nach Beute.

Die dritte Art des Fluges ohne Flügelschlag, das Segeln, unterscheidet sich vom Schweben dadurch, dafs die Tiere nicht über einem und demselben Punkte des Meeresspiegels oder des Festlandes verharren, sondern frei weg vorwärts fliegen; auch beim Segeln findet kein Flügelschlag statt. Man beobachtet es am besten bei Möwen, welche Segelschiffen folgen und sich dabei in stets gleichem Abstande von dem in der Vorwärtsbewegung begriffenen Segel des Schiffes erhalten. — Aufser hinter den segelnden Schiffen beobachtet man segelnde Vögel häufig über den Wellen des Meeres. Man nimmt dabei wahr, dafs, wenn die Wasseroberfläche sich in regelmäfsigen Wellen hebt und senkt, die Möwen ohne Flügelschlag segelnd dem Gange der Wellen folgen, indem sie sich den Bewegungen der Meereswellen entsprechend vorwärtsbewegen und stets von der Wasseroberfläche den gleichen Abstand inne haben.

Wesentlich verschieden vom Schweben und Segeln ist das Kreisen. Der kreisende Vogel beschreibt Spirallinien. Am einfachsten erhält man eine Vorstellung von der Bahn, die der kreisende Vogel durchläuft, indem man sich eine Schnur um einen Cylindermantel gewickelt denkt. Meist ist, das zeigt die Beobachtung, der Cylinder, auf dessen Oberfläche der kreisende Vogel seine Bahnen beschreibt, von elliptischem Querschnitte und die Achse des Cylinders ist fast immer nicht steil aufwärts, sondern schräg gerichtet. — Wie beim Schweben und Segeln macht auch beim Kreisen der Vogel keine Ruderflugbewegung, sondern dreht nur die Flügel schwach um die Längsachse und verlegt durch Neigen des Kopfes nach der Seite den Schwerpunkt des Körpers nach rechts oder links, wodurch bald der rechte, bald der linke Flügel tiefer zu liegen kommt und, wie die Beobachtung zeigt, die Bewegungsrichtung wesentlich beeinflufst wird.

Vergleicht man die vier Arten des Fluges ohne Flügelschlag, das Gleiten, Schweben, Segeln und Kreisen, so ergeben sich ohne Weiteres sehr bedeutende Verschiedenheiten zwischen denselben, und es unterliegt daher keinem Zweifel, dafs ein jeder Erklärungsversuch der einen oder anderen dieser Flugarten den vorhandenen Verschiedenheiten Rechnung zu tragen hat. Aussichts-

los waren daher auch alle Versuche, diese sämtlichen untereinander so verschiedenen Flugmethoden auf ein und dieselbe Art zu erklären; und doch sind derartige Versuche oft genug gemacht. Eine wirkliche Erklärung dieser physikalischen Vorgänge kann nur gelingen, wenn man die Verschiedenheiten der einzelnen Bewegungsarten sorgfältig berücksichtigt.

Verhältnismäfsig einfach ist der Vorgang des Gleitens; leicht gelingt es bei ihm ein Verständnis für die Mechanik des Prozesses zu gewinnen. Das im Ruderfluge vorwärts arbeitende Tier erwirbt durch seine Flügelschläge eine gewisse lebendige Kraft und nutzt dieselbe aus, indem es vorwärts, aufwärts oder abwärts gleitet; die Gröfse dieser lebendigen Kraft und wie man besser sagt der „kinetischen Energie“ oder Arbeitsfähigkeit der Bewegung hängt natürlich nur von der Gröfse der Masse des Tieres sowie von der Geschwindigkeit ab, mit welcher es sich in dem Augenblicke bewegt, wo es zu gleiten anfängt. — Aufser der Arbeitsfähigkeit der Bewegung kann, wie die Beobachtung zeigt, auch die Arbeitsfähigkeit der Lage zur Verwendung kommen. Der Raubvogel, der aus der Höhe auf seine Beute herunterstürzen will, besitzt je nach seinem Gewichte und der Höhe eine mehr oder weniger grofse potentielle Energie oder Arbeitsfähigkeit der Lage; er benutzt sie, indem er herabstürzt, und wandelt sie, indem er durch den Sturz eine bedeutende Geschwindigkeit erlangt, in kinetische Energie um. Wiederholt das Tier das Herabstürzen und Emporsteigen mehrfach, so findet die Umwandlung von Energie der Lage in Energie der Bewegung und umgekehrt mehrmals hintereinander statt. In allen diesen Fällen, sowohl beim Vorwärtsgleiten, wie auch bei dem aufwärts gerichteten Gleitfluge und nicht minder, wenn das Tier abwechselnd abwärts und dann aufwärts gleitet, handelt es sich um den Verbrauch eines bestimmten Energievorrates. Das Vorwärtsgleiten kann nicht dauernd mit gleicher Schnelligkeit erfolgen, rasch ist beim Emporschiefsen die vorhandene lebendige Kraft aufgebraucht, und nie kann ein Tier genau wieder die alte Höhe erreichen, wenn es sich von oben herabstürzt und dann wieder emporsteigt, wenn es nicht durch Flügelschläge den durch die Reibung verlorenen Energieverlust wieder ersetzt. Im allgemeinen ist ein Vogel zu einem desto anhaltenderen Gleiten befähigt, je gröfser seine Mafse ist, und man beobachtet daher, dafs von geometrisch ähnlich gebauten Tieren immer die gröfsten die längsten Gleitflüge ausführen.

Ein eigentümliches Flugmanöver, welches bei den Falken, die ein bestimmtes Beutetier übersteigen wollen, vielfach beobachtet ist, (siehe z. B. Huber Observations sur le vol des oiseaux de proie Génève 1784; Marey le Vol des Oiseaux Paris 1890) bedarf hierbei noch einer besonderen Erläuterung. Die Beobachtung zeigt, dafs der Raubvogel eine kleine Strecke dem Winde entgegenfliegend im Ruderfluge und zwar in einer meist nur schwach ansteigenden Richtung emporfliegt; dann kehrt er um und kommt horizontal fliegend zu einem Punkte, der über seiner alten Abflugsstelle liegt, zum zweiten Male kehrt der Vogel um, wendet sich gegen den Wind und ersteigt die zweite Staffel, worauf er wiederum mit dem Winde horizontal fliegend zu einem Punkte der um zwei Staffelhöhen über der ursprünglichen Abflugsstelle liegt. Dieses wiederholt er so lange, bis er die erforderliche Höhe erlangt hat. Das ganze Verfahren gestattet dem Tiere, ohne steil emporzusteigen und ohne sich weit von der Abflugsstelle zu entfernen, eine sehr bedeutende Höhe zu erreichen. Es wird, wie die Beobachtung zeigt, dieses Verfahren bei schwachem Winde angewandt. Je stärker der Wind ist, desto steiler können, das zeigen sowohl die Raubvögel wie auch namentlich die Möwen an der Seeküste, die Vögel empor steigen; ja sie können selbst ganz gerade emporfliegen, wenn ein so kräftiger Wind weht, dafs er das fliegende Tier mit einer Geschwindigkeit rückwärts treibt, die gerade der horizontalen Eigengeschwindigkeit des Vogels gleich ist.

Bedeutendere Schwierigkeiten als der Gleitflug bereiten für die Erklärung das Schweben, Segeln und Kreisen. Mannigfaltige zum Teil recht wunderbare Erklärungsversuche sind unternommen worden.

Häufig findet sich in der Litteratur die Ansicht, die Vögel würden zum Schweben, Segeln und Kreisen befähigt durch die warme Luft, welche sie in den Knochen hätten. Die einfache physikalische Rechnung zeigt, dafs dieses unmöglich ist. Es betrage für ein Kilo Vogelgewicht das Volum der Höhlungen in den Knochen 100 ccm und es sei die äufsere Luft 0° C, die Luft in den Knochen dagegen 40° C warm. Selbst in diesem extrem günstigen Falle beträgt die Gröfse des Auftriebes der in den Knochen enthaltenen warmen Luft nur $^1/_{60}$ Gramm für ein Kilo Vogelgewicht.

Nicht viel besser als die Erklärung vermittelst der Knochenhöhlungen ist die Zurückführung des Schwebens der Vögel auf

die Luftsäcke, die grofsen Luftbehälter, welche die Vögel in der Brust- und Bauchhöhle des Rumpfes tragen. Die Luftsäcke nehmen allerdings einen bedeutenden Raum ein, sie betragen bis zu $^1/_6$ des Körpervolums; doch würde, wie die Berechnung zeigt, ein Vogel von 1 Kilo Gewicht und 3 Liter Volum, wenn die äufsere Luft 0° C, die Luft in den Luftsäcken 40° C warm ist, durch den Auftrieb der warmen Luft nur eine Gewichtsverminderung um $^1/_{12}$ Gramm erfahren; auch dieser Erklärungsversuch ist also ganz ungenügend.

Wegen der Schwierigkeiten, eine wirkliche Erklärung zu finden, haben manche Beobachter schliefslich auf eine physikalische Theorie verzichtet und gemeint, man müsse annehmen, dafs der Vogel imstande sei, allein vermöge des freien Willens, ohne selbst Bewegungen auszuführen, sich in der Luft schwebend zu erhalten, ja sogar zu steigen. Einer ernstlichen Widerlegung bedarf ein solcher Glaube nicht.

Ebenso unphysikalisch wie die Meinung, der blofse Wille trüge das Tier, ist die Anschauung, dafs die aufsteigenden Raubvögel sich in die Luft hinaufschrauben nur vermittelst der schraubenförmigen Gestalt ihrer Flügel. Bei dieser Erklärung fehlt eines, nämlich der Antrieb für die Schraubenbewegung vollständig; es fehlt die Triebkraft, welche den Vogel mit immer gleichbleibender Geschwindigkeit bis in die höchsten Regionen der Lüfte emportreibt und fortwährend den Luftwiderstand und die Schwerkraft überwindet.

Eine fünfte Reihe von Erklärern vergleicht den schwebenden, segelnden und kreisenden Vogel mit einem Drachen und meint, der Vogel könne durch die blofse Schrägstellung seiner Flügel zum Winde es erreichen, dafs ihn der Wind trägt. Diese Erklärer vergessen dabei, dafs der Drachen fällt, sobald man die Schnur durchschneidet, die ihn in der Luft hält, und dafs der Vogel keine derartige Schnur besitzt. Wenn der Vogel seine Flügel einer Drachenfläche gleich schräg dem Winde entgegenstellte, so würde er einfach von der Luftströmung mitgenommen werden und zu gleicher Zeit zur Erde hinabgleiten. Hierbei würde die Bahn, welche das Tier beschreibt, ausschliefslich von der Gröfse seines Gewichtes, von der Gröfse der Flugflächen sowie von der Windstärke abhängen; stets aber würde der Fall sehr bald auf der Erde enden.

Namentlich Seeleute, welche das Schweben und Segeln der Möven vom Schiffe aus vielfach zu beobachten Gelegenheit haben, pflegen sich den Vorgang dadurch zu erklären, dafs sie das fliegende Tier mit einem segelnden Schiffe vergleichen. Und doch befindet sich, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, ein segelndes Schiff in einer absolut anderen Lage wie ein in der Luft schwebender Vogel. Das segelnde Schiff berührt nämlich zwei Medien, das Wasser und die Luft, der fliegende Vogel findet seinen Stützpunkt ausschliefslich in einem Medium, der Luft. Er mufs demgemäfs sehr rasch von diesem Medium Richtung und Geschwindigkeit mitgeteilt erhalten, wenn er sich nicht durch aktive Flügelschläge innerhalb dieses Mediums eine Eigenbewegung erteilt.

Fafst man das Gesamte über die bisher besprochenen Erklärungsversuche kurz zusammen, so erhält man als zweifelloses Ergebnis, dafs alle diese Erklärungsversuche, so mannigfaltig sie sind, als irrig verworfen werden müssen, da sie mit den Gesetzen der Mechanik nicht in Einklang zu bringen sind.

Um eine wirklich brauchbare Erklärung für das Schweben zu erhalten, ist es notwendig, zunächst das Verhalten des Windes an Steilküsten ins Auge zu fassen. Eine ausgezeichnete Schilderung hiervon giebt Olshausen in den Berichten des freien deutschen Hochstiftes 1890. p. 366 bis 407.

Wenn starker Wind gegen eine hohe und steile Felswand anprallt, so wird er gerade nach oben abgelenkt. Ein Beobachter, der bei heftigem Winde auf Helgoland dicht am Abhange steht, befindet sich daselbst in einer vollkommenen Windstille, während die Brandung unten den Felsen peitscht, weifse Schaumköpfe die Wellen krönen, der Schaum vom Sturme 80 Meter hoch aufwärts getragen wird, und während auf der Mitte der kahlen Insel der Sturm uns das Stehen fast unmöglich macht. Deswegen halten sich auch bei heftigem Winde die Spaziergänger stets an der Windseite, und die Schafe auf der Insel legen sich stets an der dem Winde zugekehrten Seite nieder, weil sie dort Schutz gegen den Sturm finden. Zehn bis zwanzig Meter von der steilen Kante entfernt beginnt bereits ein unruhiges Wehen ohne bestimmte Richtung; dafselbe steigert sich zu heftigem Winde, wenn der Beobachter sich der Mitte nähert, und von dort bis zur Kante an der Leeseite empfindet er die volle Wucht des Sturmes.

Wirft man nun bei stürmischem Wetter and zwar an der Windseite feste Gegenstände, Latten, Grashalme, Erdklöfse,

Zweige über die 60—70 Meter hohe Felswand hinab, so werden sie vom Winde emporgetragen und fliegen in hohem Bogen auf die Insel zurück. Leichtere Gegenstände fliegen, bevor sie zu Boden fallen, rückwärts gegen die allgemeine Windrichtung und bleiben dann in der windstillen Zone nahe der Kante des Felsens liegen. Die Buben auf Helgoland werfen ihre Mützen bei solchem Wetter weit über die Felskante hinaus nach dem Meere zu; die Mützen kommen stets von selbst zurück, denn der aufwärts steigende Luftstrom ergreift sie, trägt sie empor und läfst sie auf das Felsplateau fallen. Professor Hallier hat diesen Versuch sogar mit einem schweren hölzernen Warnungspfahl gemacht, den er über den Rand des Felsens hinausschob. Der Pfahl wurde vom Sturme ergriffen, hoch emporgeschleudert und fiel dann auf die Insel zurück; eine grofse schwere Bank wurde durch Knaben wiederholt über den Rand des Felsens geworfen und sie wurde durch den Sturm fünf, sechs Mal wieder auf die Insel zurückgeschleudert; dann aber schofs sie hinunter.

Wenn diese aufsteigende Luftströmung imstande ist, solche Kraftstücke zu verrichten, so kann sie natürlich auch die viel leichteren Vögel tragen. Und sie ist es auch thatsächlich, die das Schweben der Möwen ermöglicht. Die Vögel brauchen, wenn sie lange über demselben Punkte des Meeres verweilen wollen, nur stets so zu steuern, dafs sie in dieser aufwärts gerichteten Luftströmung bleiben. Und sie können dieses stundenlang, weil sie den Ort, wo die Luft aufsteigt, genauer als der Mensch aus der Erfahrung kennen. Der auf dem Felsen postierte Beobachter erkennt aus der Stellung der Möwen, dafs der tragende aufsteigende Wind bis zu einer Höhe von vielen hunderten von Metern sich erstreckt und je höher um so weiter nach der Luvseite über das Meer hinausreicht. In der That beobachtet man dort das vollständig flügelschlaglose Schweben von ganzen Scharen von Möwen, die in diesem Gebiete scheinbar nach jeder Richtung hinsteuern.

Aus den Beobachtungen über den Ort, wo die Möwen schweben, lassen sich sichere Schlüsse ziehen auf die Windrichtung. Bei Westwind schweben die Möwen an der Westseite, bei Ostwind an der Südost- und Nordostseite der Insel. Ebenso kann man umgekehrt aus dem Winde auf den Ort schliefsen, wo die Möwen zu finden sind.

Ganz genau die gleichen Manöver, wie sie die schwebenden Vögel an der Seeküste ausführen, werden nun auch beobachtet

bei Raubvögeln, welche über Waldlichtungen und an Waldrändern sich längere Zeit ohne Flügelschlag in der Luft halten. Auch hier erkennt man, dafs es der von der Waldlisière nach aufwärts prallende Luftstrom ist, der den Vögeln das Verharren in der Höhe gestattet. Und ebenso wie bei Windstille die Möwen nicht an der Küste schweben können, so vermögen auch die Raubvögel bei Windstille sich nicht ohne Flügelschlag schwebend in der Luft zu erhalten.

Das Segeln ist leicht erklärlich, nachdem das Schweben in bezug auf seine Mechanik klar erkannt worden ist. Das Segeln der Vögel unterscheidet sich vom Schweben dadurch, dafs das Tier sich bei ihm vorwärts bewegt, beim Schweben dagegen über einer und derselben Stelle des Erdbodens verharrt. Es ist ein anziehendes Schauspiel, den segelnden Möwen während einer Seefahrt mit dem Auge zu folgen. In stets gleich bleibendem Abstande von dem Hauptmaste des Schiffes hält sich die Möwe unbeweglich in der Luft. Aus der Höhe beobachtet sie aufmerksam jeden Hergang auf dem Schiffe, reguliert durch schwache Drehung des Flügels um die Längsachse ihre Stellung zum Segel und ist, sobald ein Bissen für sie hingeworfen wird, schnell bereit, unter Reffung ihrer Flügel sich auf den betreffenden Gegenstand hinabzustürzen, um ihn, noch ehe er niedergefallen ist, mit dem Schnabel zu ergreifen. Die Möwe kehrt jedesmal, sobald sie ihre Beute gefafst hat, sofort wieder auf ihren alten Punkt zurück, wobei sie selbstverständlich einige Flügelschläge machen mufs, und verharrt dann ruhig an der gleichen Stelle, folgt aber den Bewegungen des Schiffes. (s. Lilienthal, Der Vogelflug. Berlin 1889. p. 106.)

Leicht erkennt man, dafs das Tier durch den Wind getragen wird, der von hinten her gegen das Segel des Schiffes weht, von der Segelfläche emporprallt und aufwärts steigend die Unterfläche der Möwe trifft. Nur durch diesen Wind wird das Tier befähigt, dem Laufe des Schiffes ohne Flügelschlag zu folgen. Die ganze Thätigkeit, die die Möwe beim Segeln auszuführen hat, besteht darin, dafs sie durch vorsichtige Drehung der Flügel um die Längsachse sowohl ein Hinausschiefsen über die gewünschte Entfernung vom Segel wie auch ein allzuweites Zurückbleiben hinter demselben vermeidet.

Auch das Verhalten der Möwen, welche, über den Wellen des Meeres hinschwebend, sich in stets gleich bleibendem Ab-

stande von den Meereswellen zu halten verstehen, läfst sich ohne Schwierigkeit als eine besondere Form dieser Bewegung auffassen.

Die Geschwindigkeit der Wellen beträgt bei starkem Seewinde 10—15 m pro Sekunde, im südlichen atlantischen Westwindgebiete 14 m, ja am Kap der guten Hoffnung sind Geschwindigkeiten von 40 m pro Sekunde beobachtet worden. Stets bleibt indessen die Geschwindigkeit der Wellen hinter denen des Windes zurück, der sie hervorruft. Da mit wachsendem Winde die Geschwindigkeit der Wellen zunimmt, so laufen diese bei wachsendem Winde stets langsamer, als der Wind weht, sodafs also bei 20 m Windgeschwindigkeit nur eine Wellengeschwindigkeit von etwa 15 m vorhanden ist. Die Vorstellung dieser zwei verschiedenen und dabei gleichzeitigen Geschwindigkeiten wird erleichtert, wenn wir die Wellen mit ihren Bergen und Thälern in absoluter Ruhe und den betreffenden Wind mit einer Geschwindigkeit der Diffenrenz 20 — 15 = 5 m darüber hinwehend denken. Die in Gedanken erstarrten Wellen von der Gröfse und Höhe der wirklichen Wellen im Sturme erreichen im atlantischen Ozean eine Länge von 133 m, am Kap der guten Hoffnung sogar die von 580 m. Diese Wellen sind kleinen Hügeln gleich, welche die Richtung des Windes ablenken und auf ihrem Rücken aufwärts kehren. Hinter jeder Welle befindet sich ein Windschatten, und erst eine Strecke über ihrem Gipfel hinaus erreicht der Wind wieder den Wasserspiegel. Der über den Wellen segelnde Vogel hält sich nun, wie die Beobachtung zeigt, stets an der dem Winde zugekehrten Seite des Wellenberges, der Luvseite; die Möwe vermeidet im allgemeinen ein jedes Hinausschiefsen über den Gipfel der Welle genau ebenso sorgsam, wie sie ein Überholen des Schiffes vermeidet, wenn sie hinter dem Segel eines Fahrzeuges hersegelt. (siehe Olshausen l. c. pag. 392.)

Nur in einer Beziehung ist der über den Wellen segelnde Vogel in einer wesentlich anderen und zwar günstigeren Lage, als wenn er hinter dem Segel eines Schiffes hersegelt, er ist nicht auf eine einzige Stelle an der Meeresfläche beschränkt, sondern er findet, soweit Wellen und Wind reichen, überall gute für das mühelose Segeln geeignete Plätze. Die meilenweit sich hinziehenden Wellenberge gestatten dem Tier an jedem Punkte ihrer Länge das Segeln und aufserdem kann die Möwe, die durch den vom

Wellenberge emporprallenden Windstrome getragen wird, in jedem beliebigen Augenblick durch einen Flügelschlag sich in die raschere horizontale Luftströmung in gröfserer Höhe erheben und sich durch dieselbe bis zum nächsten Wellenberge tragen lassen, ein Manöver, welches die Möwen häufig ausführen und bei dem sie ganz ungeheure Entfernungen mit minimalem Kraftaufwande durcheilen.

Für das Schweben sowohl wie für das Segeln der Vögel ist somit einerseits durch die Beobachtungen über das Verhalten der Tiere und andererseits durch Feststellung der Luftbewegungen eine ausreichende Erklärung gefunden worden. Für das Kreisen ist diese Aufgabe bisher noch nicht ganz gelöst. Der Grund hierfür liegt zum Teil darin, dafs es ganz aufserordentlich schwer gelingt, den Vorgang im Einzelnen zu beobachten. Beim Schweben sowohl wie beim Segeln erhält sich der Vogel annähernd in gleichbleibender Entfernung vom Erdboden, und es macht daher keine besondere Schwierigkeit, die Bewegungen des Tieres genau zu verfolgen. Beim Kreisen sieht man dagegen die Tiere sich bald vom Erdboden entfernen, bald wiederum sich demselben nähern, und die Bahnen, welche sie beschreiben, sind derartig, dafs der auf seinen Standpunkt auf der Erdoberfläche beschränkte Beobachter schwer den wirklichen Hergang feststellen kann. Vielfältig hält man bei der Beobachtung die kreisende Bewegung für ein einfaches Gleiten in einer Horizontalebene, man sieht dem kreisenden Vogel längere Zeit zu und wird sich dann plötzlich dessen bewufst, dafs das Tier in eine grofse Höhe aufgestiegen ist, weil es plötzlich sehr klein erscheint, während wir es vorher viel gröfser gesehen hatten. Wir sind eben ganz aufserordentlich unfähig, Bewegungen zu erkennen, welche direkt auf uns zu oder direkt von uns weg gerichtet sind. Nur durch die scheinbare Abnahme der Gröfse des beobachteten Objektes können wir eine wachsende Entfernung, nur durch ein Anwachsen des gesehenen Bildes eine Annäherung feststellen; wir können daher, wenn der Vogel über uns kreist, weder ein Steigen noch ein Sinken desselben sicher beobachten. Besser können wir seitliche Bewegungen auffassen. Und man kann daher deutlich sehen, dafs die Vögel beim Kreisen den Kopf bald nach rechts, bald nach links neigen und dadurch den Schwerpunkt seitwärts verlegen. Es schwankt dann der ganze Körper nach derjenigen Seite hin, nach welcher der Kopf bewegt wird, und es ist die Stellung eines Tieres,

welches mit beispielsweise nach links geneigtem Kopfe im Kreise schwebt, genau die eines Kunstreiters im Circus, dessen Pferd im Kreise linksherum läuft, wobei der Kunstreiter seinen Körper immer dem Drehungsmittelpunkte zuneigen mufs, um nicht in tangentialer Richtung aus der Bahn heraus zu fliegen.

Ohne weiteres stellt man durch blofse Überlegung fest, dafs das Kreisen bei windstillem Wetter unmöglich ist, dafs in ruhender Luft jeder Vogel, auch wenn er noch so grofse Flügel hat, langsam sinken mufs, und leicht ist es durch die Beobachtung zu bestätigen, dafs jedes Mal, wenn die Vögel kreisen, wenigstens in den oberen Luftregionen eine kräftige Luftbewegung vorhanden ist. Dagegen ist es schwer zu ermitteln, von welcher Art diese Luftbewegung ist.

Bei den ersten Versuchen, das Kreisen zu erklären, ging man von der Annahme aus, dafs ein gleichmäfsiger Wind über den Erdboden hinginge. Der Vogel läfst, so lautet eine Erklärung, nachdem er sich durch Muskelthätigkeit in die Höhe gearbeitet hat, den Wind von hinten her auf sein Gefieder wirken, er läfst sich vom Winde treiben. Dabei erfährt er eine sehr bedeutende Vorwärtsbewegung und zugleich eine kleine Senkung. Das Tier fliegt indessen hierbei nicht gerade aus, sondern es dreht sich. Während des Gleitens verschiebt nämlich der Vogel entweder seinen Schwerpunkt seitwärts durch Wenden des Kopfes, oder er verschiebt den Druckmittelpunkt der ganzen dem Winde gebotenen Fläche seitwärts, indem er den Flügel der einen Seite verkürzt. In beiden Fällen ist der Effekt der gleiche, es wird ein Drehungsmoment geschaffen, das das Tier im Kreise herumzubewegen strebt. Wendet z. B. ein Storch, wenn er vor dem Winde abwärts gleitet, seinen Kopf links, oder verkürzt ein Adler oder Geier seinen linken Flügel, so erfährt das Tier eine Linkswendung, die es schliefslich gegen den Wind kehrt. Sowie nun der Luftstrom das Tier von vorn erfafst, so ändert sich die Stellung der vorher, so lange der Wind von hinten kam, aufgeblähten Federn; das Gefieder legt sich dicht an den Körper an, und somit durchschneidet der Vogel jetzt die Luft mit seinen Flügeln, er durchbohrt sie mit seinem spitz zulaufenden Kopfe in der Weise, dafs er nur einen sehr viel geringeren Widerstand erfährt als vorher. Durch geschickte Stellung der Flügel und, wo derselbe einigermafsen grofs ist, auch des Schwanzes, wird der zu überwindende Luftwiderstand zur Hebung benutzt. Dabei

wird nun allerdings die vom Vogel vorher erworbene lebendige Kraft schnell verbraucht, aber das Tier erhält ja bei weiter fortgesetzter Drehung bald wieder einen neuen Impuls, indem der Wind das Gefieder wieder von hinten faſst. Die Bahn, die ein solcher Vogel beim Kreisen beschreibt, ist demgemäſs eine um einen geneigten Cylinder beschriebene Spirallinie. Ausnahmslos muſs sich der Mittelpunkt der Kreise, die ein ohne Flügelschlag fliegender Vogel beschreibt, entweder horizontal (in der Richtung des Windes) oder vertikal (in der Richtung der Schwerkraft) verschieben; ein wirkliches Stehenbleiben in der Luft oder ein Kreisen um einen ruhenden Punkt ist nicht möglich ohne aktive Flugbewegung (s. Müllenhoff: Die Gröſse der Flugflächen im Pflüger's Archiv für Physiologie 1884 pag. 427).

Diese Ausführungen, welche zunächst ganz einleuchtend erscheinen, enthalten doch einen physikalischen Irrtum. Ein gleichmäſsig wehender horizontaler Wind muſs innerhalb kurzer Zeit dem ohne Flügelschlag in ihm verweilenden Vogel seine Richtung und Geschwindigkeit erteilen. Es muſs, sobald dieses eingetreten ist, das Tier zu sinken beginnen, und es wird trotz aller Drehungen des Kopfes und aller Verkürzungen der Flügel fallend den Erdboden erreichen. Es kann weder ein dauerndes Verweilen in der Luft, noch auch ein Emporsteigen zu gröſserer Höhe unter der Annahme gleichmäſsiger horizontaler Luftströmungen erklärbar gemacht werden. Irrtümlich war es daher, wenn R. von Lendenfeld in den Reports of the Linnean Society of New South Wales 1885 die im obigen wiedergegebene Beschreibung der Manöver des Segelfluges als eine ingenious explanation bezeichnete. Im Irrtum befand sich auch Blix, der im skandinavischen Archiv für Physiologie 1890 eine der obigen ähnliche Erklärung des Kreisens unter der Annahme gleichmäſsiger horizontaler Luftströmung zu geben versuchte. Mit Recht wurde den Blix'schen Ausführungen gegenüber durch Thor Stenbeck (in seiner Broschüre über das Segeln oder Kreisen der Vögel. Stockholm 1891) ausgeführt, daſs in gleichmäſsig horizontal bewegter Luft, der Vogel ebenso wenig imstande sei zu kreisen, wie in ruhender Luft, eine Ausführung, die in allen wichtigen Punkten übereinstimmt mit den Auseinandersetzungen Gerlachs in der Zeitschrift für Luftschifffahrt 1886 pag. 286.

Im Gegensatze zu den vergeblichen Versuchen, das Kreisen der Vögel in gleichmäſsig horizontal strömender Luft erklären

zu wollen, machte zuerst Lord Raileigh (Nature XXVII. p. 535) darauf aufmerksam, dafs vielleicht die mit zunehmender Höhe wachsende Windgeschwindigkeit das Kreisen ermögliche. In der That tritt der Fall, dafs die ganze Luftmasse mit gleicher Geschwindigkeit strömt, fast niemals ein, es ist vielmehr in der Regel der Wind in der Höhe stärker als am Boden und sehr oft steigert sich die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe in ganz besonders hohem Mafse. Die Seeleute kennen diese Erfahrung sehr wohl. Bei schönem ruhigem Wetter spannen sie besonders die hoch am Maste gelegenen Segel auf und diese blähen sich oft ganz munter, wenn unten auf dem Wasser kaum ein Lüftchen geht. Und dieser Zustand herrscht bis zu sehr bedeutenden Erhebungen hinauf; je höher man kommt, desto stärker ist im allgemeinen der Wind, das ist schon vielfältig durch Meteorologen und zumal durch Luftschiffer festgestellt worden. Für die Auffassung der Wirkung, die der nach oben zunehmende Wind auf den Vogel ausübt, ist es notwendig im Auge zu behalten, dafs es für die Gröfse des Luftwiderstandes, den der Vogel im Winde findet, sich nur darum handelt, wie sich der Vogel im Verhältnisse zu der ihn umgebenden Luft bewegt.

Sitzt eine Möwe auf dem Wasser und weht in nächster Nähe der Wasseroberfläche ein nicht gar zu schwacher Wind, so breitet das Tier seine Flügel aus und richtet sie schräg dem Winde entgegen, so dafs der Luftstrom das Tier wie mit einer Keilwirkung emporhebt. Die gleiche Wirkung tritt nun aber ein, sobald der Vogel um einige Meter hoch gehoben ist und in rascher strömenden Wind gelangt. So lange also mit wachsender Höhe die Windgeschwindigkeit stetig zunimmt, ist das Tier befähigt dem Winde entgegen emporzusteigen; erst wenn die Zunahme der Windgeschwindigkeit unmerklich wird, findet die Aufwärtsbewegung des Tieres ein Ende.

Unerklärt läfst die Raileigh'sche Theorie, warum der Vogel in Kreisen emporsteigt und nicht in einer geraden Linie, wie man nach seinen Ausführungen erwarten sollte; auch ist bei Annahme der Raileigh'schen Erklärung nicht verständlich, warum der Vogel nicht mit steigender Höhe zugleich auch vom Winde mehr und mehr mitgeführt wird, wie es die Theorie erfordert.

Diese durch Raileigh nicht genügend aufgeklärten Eigenschaften der Bahnen kreisender Vögel versuchte in wesentlich anderer Weise Langley verständlich zu machen. Derselbe hat

zuerst im Jahre 1887 im Alleghany Observatorium beobachtet, dafs die Geschwindigkeiten der Winde, wenn sie mit einem sehr leichten Anemometer aufgezeichnet wurden, ungemein wechselten. Je leichter das Anemometer war und je geringer demgemäfs der Trägheitswiderstand der Masse wurde, desto stärkere Unregelmäfsigkeiten zeigten sich in der Windgeschwindigkeit, zumal wenn die Beobachtungen nicht von Minute zu Minute, sondern von Sekunde zu Sekunde aufgezeichnet wurden. Langley kam durch diese Unregelmäfsigkeiten der Winde auf den Gedanken, dafs die Oscillationen der Windgeschwindigkeiten verwendet werden könnten für Erklärung des kreisenden Fluges. Er stellte sich zu diesem Zweck ezunächst sehr empfindliche Anemometer her, um Zeitdauer und Stärke der Schwankungen des Windes im Einzelnen zu verfolgen. Die mit diesen Apparaten im Alleghany Observatorium begonnenen Beobachtungen setzte er nach seiner Übersiedelung nach Washington im Jahre 1893 eifrig fort. Er fand dabei, dafs der Wind veränderlich ist und unregelmäfsig in seinen Bewegungen weit über alles Mafs dessen, was man vermutet hatte; sodafs es wahrscheinlich ist, dafs auch der kleinste der Beobachtung zugängliche Teil des Windes nicht als annähernd gleichmäfsig betrachtet werden kann. Langley nennt diese Pulsationen des Windes die innere Arbeit, ein Ausdruck, der nicht eben zweckmäfsig gewählt ist, weil die innerere Arbeit hier nicht wie sonst Molekulararbeit bezeichnet, sondern Schwankungen merklicher Gröfsen. Die Aufzeichnungen des Anemometers zeigten, dafs der mit einer Geschwindigkeit von 23 engl. Meilen pro Stunde (12 m pro Sekunde) bewegte Wind innerhalb 10 Sekunden zu einer Geschwindigkeit von 33 engl. Meilen pro Stunde (17 m pro Sekunde) anstieg und in weiteren 10 Sekunden auf seine ursprüngliche Geschwindigkeit sank; dann stieg er innerhalb 30 Sekunden auf 36 engl. Meilen pro Stunde (18,5 m pro Sekunde) und so fort mit wechselndem Steigen und Fallen, einmal sogar bis 0. Die Aufzeichnung dieser Beobachtungen zeigte, dafs der Wind innerhalb $5^1/_2$ Minuten durch 18 beträchtliche Maxima und ebensoviele Minima hindurchging, dafs die durchschnittliche Zwischenzeit zwischen einem Maximum und einem Minimum etwas über 10 Sekunden betrug und dafs die mittlere Geschwindigkeitsänderung in dieser Zeit etwa 10 engl. Meilen pro Stunde ($6^1/_2$ m pro Sekunde) ausmachte (American Journal of Science 1894. pag. 41). Nun wirkt, wie die mechanische Überlegung zeigt, eine

derartig pulsierende Luftströmung genau so, wie ein abwechselnd anwachsender, abnehmender und von der entgegengesetzten Seite wehender Wind, und das Tier, welches durch seine Flügelstellung dem jeweiligen zunehmenden und nachlassenden Winde Rechnung zu tragen versteht, ist imstande, in einer derartig ungleichmäfsig strömenden Luftmasse zu jeder beliebigen Höhe emporzusteigen.

Eine der Langley'schen ähnliche Auffassung ist bereits früher (Aéronaute 1881) durch den französischen Forscher Basté ausgesprochen worden, der in einer ganz zweckmäfsigen Weise das Verhalten des Vogels durch ein Experiment zu veranschaulichen sucht. Ein Brett ist auf der einen schmalen und langen Seite wellenförmig und zwar derartig schräg abgeschnitten, dafs die Längsseite in 5—6 Wellenberge und Thäler zerfällt und Berg und Thal im ganzen von der einen Seite zur anderen ansteigen. Auf dieser wellenförmig gestalteten Längsseite des Brettes ist eine rinnenförmige, von einem Ende zum anderen laufende Vertiefung angebracht, welche einer Kugel zur Führung dient. Wird nun das Brett auf die gerade Längsseite gestellt und die Kugel auf dem untersten Wellenberge in die Führungsrinne gelegt, so rollt sie in der Rinne in das erste Wellenthal. In dem Augenblick, wo sie daselbst anlangt, wird nun das ganze Brett rasch nach dem niedrigen Ende zu verschoben. Die Kugel läuft dann vermöge ihrer Trägheit auf den zweiten, etwas höheren Wellenberg, gleitet über den Gipfel desselben hinweg in das zweite Wellenthal und beginnt den dritten Wellenberg hinaufzurollen. Ein neuer rascher Stofs verschiebt das Brett zum zweiten Male und die Kugel rollt den dritten Wellenberg hinauf bis zum Gipfel und darüber hinaus u. s. f., bis sie endlich nach wiederholten Verschiebungen des Brettes auf der höchsten Stelle desselben anlangt. Dieser Basté'sche Versuch ist recht geeignet, die Zurückführung des Kreisens der Vögel auf pulsierenden Wind in einfacher Weise zu erläutern.

Es werden somit von Raileigh die mit steigender Höhe wachsenden Windgeschwindigkeiten, von Langley die Pulsationen der Luftströmungen für die Erklärung des Kreisens herangezogen. Eine dritte Art der Erklärung giebt Lilienthal. Derselbe wies zuerst in seinem Werke „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst." Berlin, Gärtner, 1889, sodann in einem Aufsatze im Prometheus Jahrg. II pag. 35 auf die aufwärts gerichteten Luftströmungen als die wesentliche Ursache des Kreisens hin. Die

allerdings nicht senkrecht, sondern nur schräg aufwärts wehenden Winde entstehen dadurch, dafs die durch die Sonnenwärme ausgedehnte und leichter gewordene Luft „wie in einem Kamin emporsteigt“; sie bilden sich also an jedem Orte, wo sich ein barometrisches Minimum findet.

Schwer ist es allerdings, zu entscheiden, welche von diesen drei Theorien richtig sei, ob die Raileigh'sche Erklärung des Segelfluges durch die nach oben zunehmende Windgeschwindigkeit oder die Langley'sche Theorie, wonach die Pulsation des Windes das ausschlaggebende sei, oder ob endlich die Lilienthal'sche Anschauung, dafs ansteigende Luftströmungen den Vögeln das Kreisen ermöglichen. Alle drei Erklärungsarten erscheinen physikalisch möglich. Welche indessen den in der Natur gegebenen Verhältnissen entspricht, darüber wird eine Entscheidung erst gefällt werden können, nachdem die durch Marey bereits im Jahre 1890 vorgeschlagenen Versuche angestellt worden sind, die thatsächlich stattfindenden Bewegungen der kreisenden Vögel genau im einzelnen festzustellen (Marey, Vol des oiseaux Paris 1890). Marey schlug vor, es möchten mehrere Beobachter gleichzeitig von verschiedenen Standpunkten aus die Bahn eines kreisenden Vogels vermittelst des chronophotographischen Verfahrens aufzeichnen. Versuchsballons, welche zu gleicher Zeit in die Luft aufstiegen, könnten die im Augenblicke der Beobachtung gerade vorhandenen Luftbewegungen erkennen lassen. Bisher hat eine derartige Untersuchung nicht stattgefunden, und es mufs daher die definitive Entscheidung über die angeführten drei Theorien des Kreisens vertagt werden, bis durch die exakte Feststellung eine sichere Antwort auf die noch zu beantwortenden Fragen möglich ist.
